

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/008461

International filing date: 27 April 2005 (27.04.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: US  
Number: 60/570,135  
Filing date: 12 May 2004 (12.05.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 26 May 2005 (26.05.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

PCT/JP 2005/008461

27. 4. 2005

PA 1280729

# THE UNITED STATES OF AMERICA

TO ALL TO WHOM THESE PRESENTS SHALL COME:

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE

United States Patent and Trademark Office

February 07, 2005

THIS IS TO CERTIFY THAT ANNEXED HERETO IS A TRUE COPY FROM THE RECORDS OF THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE OF THOSE PAPERS OF THE BELOW IDENTIFIED PATENT APPLICATION THAT MET THE REQUIREMENTS TO BE GRANTED A FILING DATE UNDER 35 USC 111.

APPLICATION NUMBER: 60/570,135

FILING DATE: May 12, 2004

By Authority of the  
COMMISSIONER OF PATENTS AND TRADEMARKS



*H. L. Jackson*  
H. L. JACKSON  
Certifying Officer

**PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT COVER SHEET**

This is a request for filing a PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT under 37 CFR 1.53(c).

**INVENTOR(S)**

Given Name (first and middle [if any])	Family Name or Surname	Residence (City and either State or Foreign Country)	
Akira BANDO		Chiba	Japan
Hiromitsu SAKAI		Chiba	Japan

☐ Additional inventors are being named on the \_\_\_\_\_ separately numbered sheet(s) attached hereto**TITLE OF THE INVENTION (500 characters max)**

GE-DOPED N-TYPE GROUP III NITRIDE SEMICONDUCTOR

**CORRESPONDENCE ADDRESS**

Direct all correspondence to the address for SUGHRUE MION, PLLC filed under the Customer Number listed below:

WASHINGTON OFFICE

**23373**

CUSTOMER NUMBER

**ENCLOSED APPLICATION PARTS (check all that apply)**

- Specification  
(Japanese Language)      Number of Pages      8      ☐ CD(s), Number \_\_\_\_\_
- ☒ Drawing(s)      Number of Sheets      1      ☐ Other (specify) \_\_\_\_\_
- ☐ Application Data Sheet. See 37 CFR 1.76

**METHOD OF PAYMENT OF FILING FEES FOR THIS PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT**

- ☐ Applicant claims small entity status. See 37 CFR 1.27.
- ☒ A check or money order is enclosed to cover the Provisional filing fees. The USPTO is directed and authorized to charge all required fees, except for the Issue Fee and the Publication Fee, to Deposit Account No. 19-4880. Please also credit any overpayments to said Deposit Account.
- ☐ The USPTO is hereby authorized to charge the Provisional filing fees to our Deposit Account No. 19-4880. The USPTO is directed and authorized to charge all required fees, except for the Issue Fee and the Publication Fee, to Deposit Account No. 19-4880. Please also credit any overpayments to said Deposit Account.

**FILING FEE  
AMOUNT (\$)****\$160.00**

The invention was made by an agency of the United States Government or under a contract with an agency of the United States Government.

- ☒ No.
- ☐ Yes, the name of the U.S. Government agency and the Government contract number are: \_\_\_\_\_

Respectfully submitted,

SIGNATURE

DATE May 12, 2004TYPED or PRINTED NAME Abraham J. RosnerREGISTRATION NO. 33,276TELEPHONE NO. (202) 293-7060DOCKET NO. P81505**USE ONLY FOR FILING A PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT**

【書類名】 明細書

【発明の名称】 Geドープn型III族窒化物半導体

【技術分野】

【0001】

本発明は、ゲルマニウム（Ge）をドーピングしたn型III族窒化物半導体およびそれを利用したIII族窒化物半導体発光素子に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、基板上に形成されたIII族窒化物半導体は、短波長の可視光を放射する発光ダイオード（LED）やレーザダイオード（LD）等のpn接合型構造のIII族窒化物半導体発光素子を構成するための機能材料として利用されている（例えば、特許文献1参照）。例えば、近紫外帯、青色帯、或いは緑色帯の発光を呈するLEDを構成するに際し、n形またはp形の窒化アルミニウム・ガリウム（組成式 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{N}$ ： $0 \leq x, y \leq 1, x+y=1$ ）は、クラッド層を構成するために利用されている（例えば、特許文献2参照）。また、窒化ガリウム・インジウム（組成式 $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ ： $0 \leq y, z \leq 1, y+z=1$ ）は、発光層を構成するために利用されている（例えば、特許文献3参照）。

【0003】

従来のIII族窒化物半導体発光素子において、発光層には、n型またはp型のIII族窒化物半導体層がクラッド層として接合されるのが一般的である。高い強度の発光を得るために、ヘテロ接合構造の発光部を構成するためである。例えば、ダブルヘテロ接合構造の発光部を構成するために、発光層は、 $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ （ $0 \leq y, z \leq 1, y+z=1$ ）等からなり、クラッド層としてn型またはp型のIII族窒化物半導体層が接合されている（例えば非特許文献1参照）。

【0004】

例えば、基板と発光層との中間に配置されているn型III族窒化物半導体層は、従来から、もっぱら、珪素（Si）をドーピングしたIII族窒化物半導体から構成されている。珪素のドーピング量を調整することによって、制御された抵抗率を有する例えば、Siドープn型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{N}$ （ $0 \leq x, y \leq 1, x+y=1$ ）層が利用されている（例えば、特許文献4参照）。

【0005】

しかしながら、低抵抗のn型III族窒化物半導体層を気相成長させるために、珪素を多量にドーピングすると、亀裂が発生する問題があった。即ち、珪素をドーピングする従来の技術手段では、低抵抗で、しかも連続性のあるn型III族窒化物半導体層を安定して得られていない。

【0006】

一方、珪素以外のn型不純物としては、ゲルマニウム（Ge）が公知である（例えば特許文献5参照）。しかし、Siの場合と比較すると、ドーピング効率は低く、低抵抗のn型III族窒化物半導体層を得るには不利とされている。また、低抵抗のn型III族窒化物半導体層を得るためにGeを高濃度にドーピングすると、n型III族窒化物半導体層の表面には、平坦性を損なう小孔（ピット）が発生する欠点があった。

【0007】

【特許文献1】 特開2000-332364号公報

【特許文献2】 特開2003-229645号公報

【特許文献3】 特公昭55-3834号公報

【特許文献4】 特許第3383242号公報

【特許文献5】 特開平4-170397号公報

【非特許文献1】 赤崎勇著、「III-V族化合物半導体」、（株）培風館、1995年5月20日発行、第13章参照

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】



## 【0008】

本発明の目的は、ピットの発生が少ない平坦性に優れた低抵抗のGeドープn型III族窒化物半導体層を提供し、それを用いて順方向電圧が低く、かつ発光効率に優れたIII族窒化物半導体発光素子を提供することである。

【課題を解決するための手段】

## 【0009】

本発明は以下の発明を提供する。

(1) Ge原子高濃度層およびGe原子低濃度層からなることを特徴とするGeドープn型III族窒化物半導体層状物。

## 【0010】

(2) 高濃度層および低濃度層が交互に周期的に存在することを特徴とする上記1項に記載の層状物。

## 【0011】

(3) 高濃度層および低濃度層の厚さがそれぞれ0.5～500nmであることを特徴とする上記1または2項に記載の層状物。

## 【0012】

(4) 低濃度層の厚さが高濃度層の厚さと等しいか、または高濃度層の厚さよりも厚いことを特徴とする上記1～3項のいずれか一項に記載の層状物。

## 【0013】

(5) 高濃度層および低濃度層の繰り返し周期数が10～1000であることを特徴とする上記2～4項のいずれか一項に記載の層状物。

## 【0014】

(6) 層状物全体の厚さが0.1～10μmであることを特徴とする上記1～5項のいずれか一項に記載の層状物。

## 【0015】

(7) 高濃度層のGe原子濃度が $5 \times 10^{17} \sim 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であることを特徴とする上記1～6項のいずれか一項に記載の層状物。

## 【0016】

(8) 低濃度層のGe原子濃度が高濃度層のGe原子濃度より低く、かつ $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることを特徴とする上記1～7項のいずれか一項に記載の層状物。

## 【0017】

(9) 低濃度層がGe原子を故意にドーピングされていないことを特徴とする上記8項に記載の層状物。

## 【0018】

(10) 基板上にIII族窒化物半導体からなる発光層を有するIII族窒化物半導体発光素子に於いて、基板と発光層との間に、上記1～9項のいずれか一項に記載のGeドープn型III族窒化物半導体層状物を有することを特徴とするIII族窒化物半導体発光素子。

【発明の効果】

## 【0019】

本発明のGeドープn型III族窒化物半導体層は、低抵抗のGe原子高濃度層に発生するピットをGe原子低濃度層が埋めるため、n型III族窒化物半導体層全体として低抵抗であり、かつ平坦性に優れる。従って、このようなGeドープn型III族窒化物半導体層を用いた本発明の発光素子は順方向電圧が低く、かつ優れた発光効率を有する。

【発明を実施するための最良の形態】

## 【0020】

本願発明においてIII族窒化物半導体層が積層される基板としては、融点が比較的高く、耐熱性のあるサファイア( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 単結晶)や酸化亜鉛(ZnO)或いは酸化ガリウム・リチウム(組成式 $\text{LiGaO}_2$ )等の酸化物単結晶材料、珪素単結晶(シリコン)や立方晶或いは六方晶結晶型の炭化珪素(SiC)等のIV族半導体単結晶からなる基

板等が挙げられる。基板材料として、リン化ガリウム (GaP) 等の III-V 族化合物半導体単結晶材料も利用できる。発光層からの発光を透過できる、光学的に透明な単結晶材料は基板として有効に利用できる。好ましくはサファイアである。

#### 【0021】

本発明の Ge ドープ n 型 III 族窒化物半導体層は、組成式  $Al_xGa_yIn_zN_{1-x-y-z}M_a$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$  で且つ、 $x+y+z=1$ 。記号 M は窒素とは別の第 V 族元素を表し、 $0 \leq a < 1$  である。) の III 族窒化物半導体から構成する。基板と、その上に形成する III 族窒化物半導体層との間に格子ミスマッチがある場合は、そのミスマッチを緩和して、結晶性に優れる III 族窒化物半導体層をもたらす低温緩衝層或いは高温緩衝層を介在させて積層するのが得策である。緩衝層は、例えば、窒化アルミニウム・ガリウム ( $Al_xGa_yIn_zN$ :  $0 \leq x, y, z \leq 1$  で且つ、 $x+y+z=1$ ) 等から構成できる。

#### 【0022】

上記組成の III 族窒化物半導体層は、有機金属化学的気相堆積法 (MOCVD、MOVPE または OMVPE などと略称される)、分子線エピタキシャル法 (MBE)、ハロゲン気相成長法、ハイドライド (水素化物) 気相成長法等の気相成長手段に依り形成できる。これらの中でも MOCVD 法が好ましい。

#### 【0023】

MOCVD 法では、キャリアガスとして水素 ( $H_2$ ) または窒素 ( $N_2$ )、III 族原料である Ga 源としてトリメチルガリウム (TMG) またはトリエチルガリウム (TEG)、Al 源としてトリメチルアルミニウム (TMA) またはトリエチルアルミニウム (TEA)、In 源としてトリメチルインジウム (TMI) またはトリエチルインジウム (TEI)、窒素源としてアンモニア ( $NH_3$ ) またはヒドラジン ( $N_2H_4$ ) などが用いられる。

#### 【0024】

ゲルマニウム源としては、ゲルマンガス ( $GeH_4$ ) や、テトラメチルゲルマニウム ( $(CH_3)_4Ge$ ) やテトラエチルゲルマニウム ( $(C_2H_5)_4Ge$ ) 等の有機ゲルマニウム化合物を利用できる。なかでも  $(CH_3)_4Ge$  が好ましい。MBE 法では、元素状のゲルマニウムもドーピング源として利用できる。

#### 【0025】

MOCVD 法では、上記原料を用いて基板上に、目的に応じた III 族窒化物半導体層を  $900^\circ\text{C} \sim 1250^\circ\text{C}$  の温度範囲で成長させることが好ましい。

#### 【0026】

Ge 原子高濃度層および低濃度層は、III 族窒化物半導体層の気相成長時に Ge のドーピング源の気相成長反応系への供給量を変化させて形成する。例えば、Ge のドーピング源を気相成長反応系へ供給せずに、アンドープの層すなわち Ge 原子濃度がゼロの層を形成した後、気相成長反応系へ多量の Ge ドーピング源を瞬時に供給して、Ge 原子を高い濃度で含む層を形成する。また、Ge 原子濃度を低濃度とする層を成長した後、一旦成長を中断し、V/III 族原料比率等の成長条件を Ge 原子が高濃度の層に適した条件に調整した後、Ge 原子を高濃度を含む層を成長させてもよい。

#### 【0027】

この Ge ドーピング源の気相成長反応系への供給量を経時的に増減させれば、Ge 原子濃度の異なる薄層を交互に周期的に形成できる。本発明における Ge 原子高濃度層および Ge 原子低濃度層からなる Ge ドープ n 型 III 族窒化物半導体層は、このように Ge 原子濃度の高い薄層と Ge 原子濃度の低い薄層が交互に周期的に多数積層されていることが好ましい。

#### 【0028】

この場合、Ge 原子を高濃度を含む薄層の膜厚は、 $0.5 \text{ nm}$  以上  $500 \text{ nm}$  以下が適する。好ましくは、 $2 \text{ nm}$  以上  $200 \text{ nm}$  以下、さらに好ましくは、 $3 \text{ nm}$  以上  $50 \text{ nm}$  以下である。膜厚が  $0.5 \text{ nm}$  以下になると、Ge ドープ n 型半導体層全体での Ge ドー

ブ量が十分でなく高抵抗化してしまう。逆に、500 nm以上では低濃度層でピットが埋まりきらず、平坦性が悪くなる。また、ピットを埋めるために低濃度層を十分厚くすると、やはりGeドーピングn型半導体層全体として高抵抗化してしまう。

【0029】

また、Ge原子を低濃度を含む薄層の膜厚は、Ge原子を高濃度を含む薄層と同様に、0.5 nm以上500 nm以下が好ましく、2 nm以上200 nm以下がさらに好ましく、3 nm以上50 nm以下が特に好ましい。膜厚が0.5 nm以下になると高濃度層で形成されるピットを十分埋められず平坦性が損なわれる。また、500 nm以上では、Geドーピングn型半導体層全体として高抵抗化してしまい、順方向電圧(V<sub>f</sub>)或いは閾値電圧(V<sub>th</sub>)の低いIII族窒化物半導体発光素子を得るに不利である。

【0030】

本発明では、互に接触している高濃度層と低濃度層の一組を一周期という。各周期の高濃度層の膜厚と低濃度層の膜厚の合計、すなわち、1周期の膜厚は、1 nm以上1000 nm以下が適する。好ましくは、4 nm以上400 nm以下、さらに好ましくは、6 nm以上100 nm以下である。1000 nm以上では、ピットの形成を抑制できないか、もしくは、Geドーピングn型半導体層全体として高抵抗化してしまう。また、膜厚の合計を1 nm以下にするためにはGe原料の供給量を頻繁に変更せねばならず、作業効率が低下する。

【0031】

1周期中において高濃度層が低濃度層より厚い場合、ピット形成の抑制が十分でなく、平坦性が十分に得られない。一方、1周期中において低濃度層が高濃度層と同等かそれ以上厚い場合は、平坦性は良好になる。従って、低濃度層の厚さは高濃度層の厚さ以上とすることが好ましい。

【0032】

Geドーピングn型III族窒化物半導体層全体の層厚は、0.1 μm以上10 μm以下が好ましく、0.3 μm以上5 μm以下がさらに好ましく、0.5 μm以上3 μm以下が特に好ましい。層厚が0.1 μm以下になると発光素子の順方向電圧が高くなる。また、10 μm以上にしても得られる効果に大差なく、コストが上昇するのみである。

【0033】

上記の1周期の厚さおよびGeドーピングn型半導体層全体の厚さから、積層させる周期数は1以上で10000以下が好ましく、10以上で1000以下がさらに好ましく、20以上で200以下が特に好ましい。例えば、厚さ10 nmの高濃度層および厚さ10 nmの低濃度層の繰り返しを一周期として、100周期に亘り積層させて、合計で厚さを2 μmとするGeドーピングn型半導体層を形成する。

【0034】

高濃度層のGe原子の濃度は、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下とするのが好ましく、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下がさらに好ましく、 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下が特に好ましい。 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下の濃度では、Geドーピングn型半導体層全体の抵抗が高くなり、順方向電圧の低いLEDが得られ難い。一方、Ge原子の濃度が $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ では、キャリア濃度が概ね $(3 \sim 4) \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ となる。この原子濃度を超えてGeをドーピングすると、表面のピットの密度が急激に増加するため好ましくはない。高濃度層のGe原子濃度は、Geドーピングn型半導体層全体に亘って必ずしも一定でなくても良く、各周期毎に濃度が連続的もしくは不連続に変化していても良い。また、一つ一つの薄層内部でGe原子濃度が変化していてもよい。

【0035】

低濃度層のGe原子の濃度は、高濃度層のGe原子の濃度より低濃度であり、かつ、 $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下とするのが好ましい。Ge原子の濃度を $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上とすると、表面のピットの密度が急激に増加するため好ましくない。さらに好ましくは $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下、特に好ましくは $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。下限に関しては低ければ低い程よく、むしろ故意にドーピングしない方が好ましい。Ge原子濃度をより小とするた



め、低濃度層をアンドープのⅢ族窒化物半導体薄層から構成すると、高濃度層の表面に発生するピットを埋め尽くす効果がさらに高まり、表面の平坦なn型半導体層を得るのに好ましい。なお、低濃度層のGe原子濃度が低く、キャリア濃度が低ければ低い程、低濃度層の厚さを薄くすることが望ましい。

【0036】

また、低濃度層においても高濃度層と同様、低濃度層のGe原子濃度は、n型半導体層全体に亘って必ずしも一定でなくても良く、各周期毎に濃度が連続的もしくは不連続に変化していても良い。また、一つ一つの薄層内部でGe原子濃度が変化していてもよい。

【0037】

Ge原子の濃度は、例えば、2次イオン質量分析法(SIMS)で測定できる。これは、試料の表面に1次イオンを照射することにより、イオン化して飛び出した元素を質量分析する手法であり、特定の元素の深さ方向の濃度分布を観察かつ定量できる。Ⅲ族窒化物半導体層中に存在するGe元素についてもこの手法が有効である。その際に各層の厚さも算出できる。

【0038】

本発明のGeドープn型Ⅲ族窒化物半導体層を利用して、Ⅲ族窒化物半導体発光素子を作製する場合、当該Geドープn型半導体層は基板と発光層の間の何処にでも配置できる。例えば、基板の表面に直接、接合させて設けられるし、基板の表面に設けた緩衝層上に接合させて設けることもできる。また、アンドープのGaN等からなる下地層の上に接合させて設けることもできる。基板或いは緩衝層等に近接する本発明のGeドープn型半導体層の上方にⅢ族窒化物半導体層を設ければ、結晶性に優れるⅢ族窒化物半導体層が得られる。本発明のGeドープn型半導体層を設けることに依り、基板との格子ミスマッチに基づくミスフィット転位等の層の上方への伝搬が抑止されるからである。

【0039】

本発明のGeドープn型半導体層を設けると、下方から貫通して来る転位の上層への伝搬を抑制できるので、その上方に形成された発光層は結晶性に優れ、従って高い発光強度のⅢ族窒化物半導体発光素子を得ることができる。

【0040】

Ⅲ族窒化物半導体からなる発光層としては、 $Al_xGa_yIn_zN_{1-x-y-z}M_a$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ で且つ、 $x+y+z=1$ 。記号Mは窒素とは別の第Ⅴ族元素を表し、 $0 \leq a < 1$ である。)で表わされる各種組成の単一量子井戸構造および多重量子井戸構造等の発光層が知られており、それら公知の発光層を何ら制限なく用いることができる。また、ダブルヘテロ構造の発光部を構成するためのp型Ⅲ族窒化物半導体もMgやZn等のp型ドーパントをドーパした前記組成式で表わされる各種組成のものが知られており、それら公知のものを何ら制限なく用いることができる。

【0041】

目的とする半導体層を積層したのち、所定の位置に正極および負極を形成する。化合物半導体発光素子用の正極および負極として、各種の構成および構造が知られており、これら公知の正極および負極を本発明においても何ら制限なく用いることができる。また、それらの製造方法も、真空蒸着法およびスパッタリング法等公知の方法を何ら制限なく用いることができる。

【実施例】

【0042】

以下に実施例により本発明をさらに詳細に説明するが、本発明はこれらの実施例にのみ限定されるものではない。

【0043】

(実施例1)

図1は、本実施例で作製したGeドープn型Ⅲ族窒化物半導体層を含む積層構造体の断面構造を模式的に示した図である。



## 【0044】

サファイア基板上にIII族窒化物半導体を積層した構造体は、一般的な減圧MOCVD手段を利用して以下の手順で形成した。まず、(0001)-サファイア基板1を、高周波(RF)誘導加熱式ヒータで成膜温度に加熱される半導体用高純度グラファイト製のサセプタ上に載置した。載置後、ステンレス鋼製の気相成長反応炉内に窒素ガスを流通し、炉内をパージした。

## 【0045】

気相成長反応炉内に、窒素ガスを8分間に亘って流通させた後、誘導加熱式ヒータを作動させ、基板1の温度を、10分間で室温から600℃に昇温した。基板1の温度を600℃に保ったまま、水素ガスと窒素ガスを流通させて、気相成長反応炉内の圧力を $1.5 \times 10^4$ パスカル(Pa)とした。この温度及び圧力下で2分間、放置して、基板1の表面をサーマルクリーニングした。サーマルクリーニングの終了後、気相成長反応炉内への窒素ガスの供給を停止した。水素ガスの供給は継続させた。

## 【0046】

その後、水素雰囲気中で、基板1の温度を1120℃に昇温させた。1120℃で温度が安定したのを確認した後、トリメチルアルミニウム(TMA)の蒸気を随伴する水素ガスを8分30秒間、気相成長反応炉内へ供給した。これにより、気相成長反応炉の内壁に以前より付着していた窒素を含む堆積沈着物の分解により生じる窒素原子と反応させて、サファイア基板1上に、厚さ数nmの窒化アルミニウム(AlN)薄膜からなる高温緩衝層2を付着させた。TMAの蒸気を随伴する水素ガスの気相成長反応炉内への供給を停止しAlNの成長を終了させた後、4分間待機し、気相成長炉内に残ったTMAを完全に排出した。

## 【0047】

続いて、アンモニア(NH<sub>3</sub>)ガスを気相成長反応炉内に供給し、4分が経過した後、アンモニアガスの流通を続けながら、サセプタの温度を1040℃に降温した。サセプタの温度が1040℃になったのを確認した後、暫時、温度が安定するのを待ち、トリメチルガリウム(TMGe)の気相成長反応炉内への供給を開始し、アンドープのGaNからなる下地層3を1時間に亘って成長させた。下地層3の層厚は2μmとした。

## 【0048】

次に、基板温度を1120℃に上昇し、温度が安定させたところで、テトラメチルゲルマニウム((CH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>Ge)を18秒間流通、その後18秒間流通を停止した。このサイクルを100回繰り返し、厚さ2.0μmのGe濃度が周期的に変化する本発明のGe原子高濃度層とGe原子低濃度層からなるGeドープn型GaN層4を形成した。

## 【0049】

Geドープn型GaN層4の成長を終了した後、誘導加熱式ヒータへの通電を停止して、基板1の温度を、室温迄、約20分間で降温した。降温中は、気相成長反応炉内の雰囲気は窒素のみから構成した。基板1の温度が室温まで降温したのを確認して、積層構造体を気相成長反応炉より外部へ取り出した。

## 【0050】

得られた積層構造体のGeドープn型GaN層4のホール測定によるキャリア濃度は、 $7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であった。n型GaN層4の表面は、ピット密度が200個/cm<sup>2</sup>以下の非常に平坦な面であった。SIMS分析の結果、高濃度層はGe原子濃度が $1.2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であり、厚さが10nmであった。また、低濃度層はGe原子濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、厚さが10nmであった。

## 【0051】

なお、SIMSの測定条件は、一次イオン種としてCs<sup>+</sup>を用いて、加速電圧を14.5keV、イオン電流を40nAとした。また、ラスト領域は100μm<sup>2</sup>であり、分析領域を30μm<sup>2</sup>とした。

## 【0052】

(実施例2)

Geドープn型GaN層4の形成を、 $(\text{CH}_3)_4\text{Ge}$ を9秒間流通、その後9秒間流通停止のサイクルを200回繰り返して厚さ2.0  $\mu\text{m}$ の層としたこと以外は、実施例1と同様にして積層構造体を作製した。

## 【0053】

得られた積層構造体のGeドープn型GaN層4のホール測定によるキャリア濃度は、 $7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ で実施例1と同じであった。SIMS分析の結果、高濃度層はGe原子濃度が $1.2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であり、厚さが5 nmであった。また、低濃度層はGe原子濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、厚さが5 nmであった。n型GaN層4の表面は、ピット密度が4000個/ $\text{cm}^2$ と実施例1に比較すれば若干増加したが、従来のGeドープn型半導体層に比べれば、非常に平坦な面であった。

## 【0054】

## (比較例1)

Geドープn型GaN層4の形成を、 $(\text{CH}_3)_4\text{Ge}$ を常に同一流量で流通させながら厚さ2.0  $\mu\text{m}$ の層としたこと以外は、実施例1と同様にして積層構造体を作製した。なお、 $(\text{CH}_3)_4\text{Ge}$ の流量は、Geドープn型GaN層4のホール測定によるキャリア濃度が実施例1と同じ $7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ になるように調製した。

## 【0055】

得られた積層構造体のGeドープn型GaN層4の表面はピット密度が $1 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ と極めて高く、平坦な表面が得られなかった。

## 【0056】

## (実施例3)

実施例1で作製した積層構造体の上にさらにIII族窒化物半導体層を積層させ、III族窒化物半導体発光素子を作製した。図2は、本実施例で作製したIII族窒化物半導体発光素子の断面構造を模式的に示した図である。

## 【0057】

Geドープn型GaN層4の形成までは実施例1と同じである。Geドープn型GaN層4を積層した後、1060℃で、アンドープn型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層5を積層した。このクラッド層5の層厚は12.5 nmとした。

## 【0058】

次に、基板1の温度を730℃として、 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ からなる障壁層6aと、 $\text{In}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ よりなる井戸層6bとを含む5周期構造の多重量子井戸構造発光層6をアンドープn型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層5上に設けた。多重量子井戸構造の発光層6にあっては、まず、 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 障壁層6aをアンドープn型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層5に接合させて設けた。

## 【0059】

$\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 障壁層6aは、トリメチルアルミニウム(TMA)をアルミニウム源とし、トリエチルガリウム(TEG)をガリウム源として成長させた。層厚は8 nmとし、アンドープとした。 $\text{In}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ 井戸層6bは、トリエチルガリウム(TEG)をガリウム源とし、トリメチルインジウム(TMI)をインジウム源として成長させた。層厚は、2.5 nmとし、アンドープとした。

## 【0060】

多重量子井戸構造からなる発光層6上には、マグネシウム(Mg)をドーピングしたp型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層7を形成した。層厚は10 nmとした。p型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層7上には、更に、Mgをドーピングしたp型GaNコンタクト層8を形成した。Mgのドーピング源には、ビスーシクロペンタジエニルMgを用いた。Mgは、p型GaNコンタクト層8の正孔濃度が $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ となる様に添加した。p型GaNコンタクト層8の層厚は100 nmとした。

## 【0061】

p型GaNコンタクト層8の成長を終了した後、誘導加熱式ヒータへの通電を停止して、基板1の温度を、室温迄、約20分間で降温した。降温中は、気相成長反応炉内の雰囲気

気を窒素のみから構成した。基板 1 の温度が室温まで降温したのを確認して、積層構造体を気相成長反応炉より外部へ取り出した。この時点で、上記の p 型 GaN コンタクト層 8 は、p 型キャリア (Mg) を電氣的に活性化するためのアニール処理を行わなくても、既に、p 型の伝導性を示した。

#### 【0062】

次いで、公知のフォトリソグラフィ技術及び一般的なドライエッチング技術を利用して、n 型オーミック電極 9 を形成する予定の領域に限り、Ge ドープ n 型 GaN 層 4 の Ge 原子高濃度層を露出させた。露出させた Ge 原子高濃度層の表面に、チタンおよび金を積層した (半導体側がチタン) n 型オーミック電極 9 を形成した。残置した積層構造体の表面をなす p 型 GaN コンタクト層 8 の表面の全域には、一般的な真空蒸着手段、及び公知のフォトリソグラフィ手段等を利用して、半導体側から順に、ニッケルおよび金を積層させた p 型オーミック電極 10 を形成した。

#### 【0063】

然る後、 $3.50\ \mu\text{m}$  角の正方形の LED チップに切断し、リードフレーム上に載置し、金導線をリードフレームに結線して、リードフレームより LED チップへ素子駆動電流を流せる様にした。

#### 【0064】

リードフレームを介して n 型および p 型オーミック電極 9、10 間に順方向に素子駆動電流を流した。順方向電流を  $20\ \text{mA}$  とした際の順方向電圧は  $3.5\ \text{V}$  であった。また、 $20\ \text{mA}$  の順方向電流を流した際の出射される青色帯発光の中心波長は  $460\ \text{nm}$  であった。また、一般的な積分球を使用して測定される発光の強度は、 $5\ \text{mW}$  に達し、高い強度の発光をもたらす III 族窒化物半導体発光素子が得られた。

#### 【0065】

##### (実施例 4)

実施例 2 で作製される積層構造体を用いる以外は、実施例 3 と同様にして III 族窒化物半導体発光素子を作製した。実施例 3 と同様に順方向電圧および発光強度を測定したところ、 $3.5\ \text{V}$  および  $4.8\ \text{mW}$  であった。また、青色帯発光の中心波長は  $455\ \text{nm}$  であった。

#### 【0066】

##### (比較例 2)

比較例 1 で作製される積層構造体を用いる以外は、実施例 3 と同様にして III 族窒化物半導体発光素子を作製した。実施例 3 と同様に順方向電圧および発光強度を測定したところ、順方向電圧は実施例 3 および 4 と同じ  $3.5\ \text{V}$  であったが、発光強度は  $0.4\ \text{mW}$  と低い強度の発光しか得られなかった。

#### 【0067】

##### (比較例 3)

本比較例では、実施例 3 において、Ge ドープ n 型 GaN 層 4 を形成する代わりに、Si を均一に  $7 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$  ドープした厚さ  $2\ \mu\text{m}$  の n 型 GaN 層を形成する以外は、実施例 3 と同様に III 族窒化物半導体発光素子を作製した。実施例 3 と同様に順方向電圧および発光強度を測定したところ、順方向電圧は実施例 3 および 4 と同じ  $3.5\ \text{V}$  であったが、発光強度は  $4\ \text{mW}$  と実施例 3 よりも  $20\%$  低い発光強度であった。

##### 【産業上の利用可能性】

#### 【0068】

本発明によって得られる Ge ドープ n 型 III 族窒化物半導体層状物は表面平坦性に優れ、かつ低抵抗であるため、III 族窒化物半導体発光素子用として有用である。

##### 【図面の簡単な説明】

#### 【0069】

【図 1】 実施例 1 で作製した積層構造体の断面構造を模式的に示した図である。

【図 2】 実施例 3 で作製した III 族窒化物半導体発光素子の断面構造を模式的に示した図である。

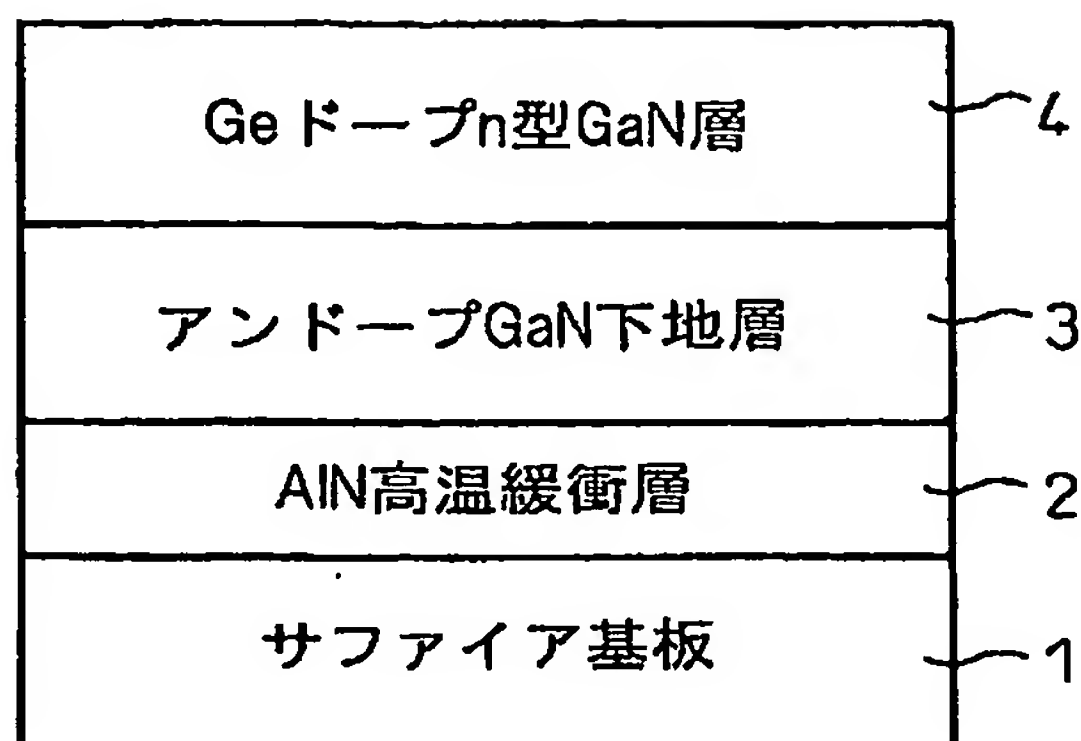


【書類名】  
【図1】

図面

Akira BANDO, et al  
GE-DOPED N-TYPE GROUP III NITRIDE.....  
May 12, 2004  
Abraham J. Rosner  
(202) 293-7060  
P81505  
1 of 1

図1



【図2】

図2

